

3 NOKTA TEKNİĞİ İLE CİSİMLERİN KOORDİNATLARININ VIDEO GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLMESİ

Sadettin KAPUCU, Sedat BAYSEÇ

Makina Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi, 27310 GAZİANTEP.

ÖZET

Bu çalışmada, video görüntü algılama sisteminde bir cismin uzaydaki konumu ve yönelmesini belirlemek için 3 nokta tekniği önerilmiştir. İmalat sırasında cismin üzerine konulan belirgin renkte 3 benek stereo görüntülerde eşleştirme için kullanılmıştır. Burada beneklerin merkezleri ve bu üç beneklerin merkezi eşleştirme kriteri olarak kullanılmıştır. Video görüntüleme sistemi kullanılarak, bir cismin uzaydaki yerinin belirlenmesi deneysel olarak yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

1 GİRİŞ

Bir cismin görüntüsü diğer duyu organlarıyla hissedilenden çok daha fazla bilgi içermektedir. Aynı şekilde robotik sistemler içinde görüntü algılama çalışma çevresi hakkında çok yararlı bilgiler sağlar. Bu çalışmada kullanılan görüntü algılama sistemi, görüntü 0 ile 65535 arasında değişen tamsayılarla ifade edilen üç bağımsız renk ile tanımlamaktadır. Monitörde görülen her pikselin konumu ve 3 farklı renk tanımlaması sadece cismin dış görüntüsünü oluşturmakla kalmaz aynı zamanda onun uzaydaki konumunu hakkında bilgide içerir. Robotik uygulamaları için bu bilgilerin analizi oldukça uzun zaman gerektirmektedir. Bunun için belirgin renkte üç benek metodunun yararlılığı açıktır. Beneklerin önceden belirlenen rengi, büyüklükleri ve aralıkları cismin tanımlanmasında yardımcıdır. Belirli bir renkteki bir benegin bulunması ve aynı renge sahip yanlış piksellerin filtrelenmesi hakkında geniş bilgi kaynaklardan bulunabilir.

Uzayda serbestlik derecesi 6 dır. Katı bir cismin uzayda konumunu ve yönelmesini belirlemek için 6 bağımsız büyüklük tanımlanmalıdır. Kartezyen koordinat sisteminde bu büyüklükler herhangi bir nokta için verilen 3 koordinat ve bu noktadan geçen bir doğrunun eksenlerle yaptığı açılar olabilir. Eger 3 adet aynı doğru üzerinde olmayan

noktanın koordinatları tanımlanırsa, bunlardan 3 adet kısıtlayıcı denklem kullanılarak 6 bağımsız büyüklük belirlenebilir. Kısıtlayıcı denklemler cismin katı olmasından dolayı her iki nokta arası sabittir varsayımıyla elde edilir. Böylece, eğer 3 tane belirli renkte beneğin koordinatları bir cisim üzerine konulursa ve görüntü analizi sonucunda bu benekler belirlenirse cismin konumu ve açısal oryantasyonu hesaplanabilir. Bu 3 benek parçanın üzerine imalat sırasında konulabilir. Bu çalışmada stereo görüntü analizi ile 3 beneğin koordinatlarının hesaplanmasından bahsedilecektir.

Stereo görüntü analizindeki adımlar [1]'de ön analiz, eşleştirme ve koordinatların hesaplanması sırası ile belirtilmektedir. Bu çalışmada ön analiz, renk sistemleri kullanılarak beneklerin tesbit edilmesidir [2]. Eşleştirme için beneklerin merkezleri ve bu üç beneğin oluşturduğu görüntü merkezi eşleştirme kriteri olarak kullanılmıştır. Koordinatlar ise stereo görüntüleme tekniği kullanılarak belirlenmiştir.

2 STEREO GÖRÜNTÜDE 3-BOYUTUN ELDE EDİLMESİ

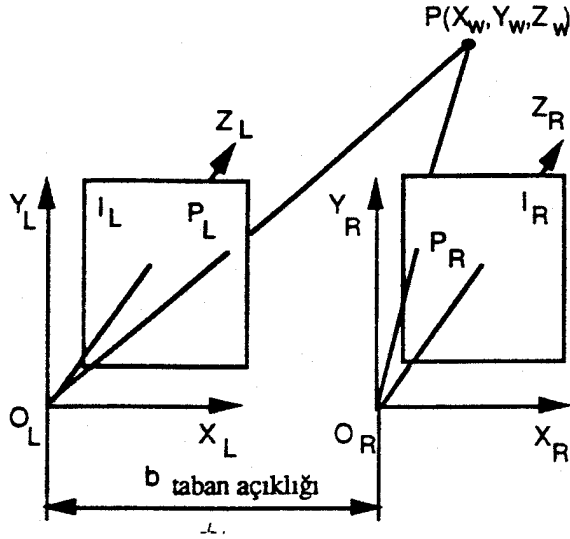
Fotogrammetri için iki ayrı konumdan iki görüntünün alınması gerekmektedir. Görüntüleme geometrisi ve lenslerin optik merkezleri gibi bir çok parametre üç boyutun elde edilmesinde önemli olmaktadır. Bu çalışmada stereo görüntülemeye paralel-eksen geometrisi ve aynı optik merkezli lensler kullanılmıştır. İki kamera yatay ve aynı yükseklikte birbirinden ayrı olarak yerleştirilmektedir. Kameraların optik eksenleri birbirine paraleldir ve optik merkezleri arasındaki uzaklık taban açıklığı (b) olarak isimlendirilmektedir (Şekil 1). Soldaki ve sadaki kameralara kartesyen koordinat sistemleri yerleştirilmiştir. Referans koordinat sistemi de yine bir kartesyen koordinat sistemidir ve X_w, Y_w, Z_w olarak anılacaktır. Cismin koordinatları bu referans kartesyen koordinata göre hesaplanacaktır. Şekil 1'de görüldüğü gibi Z_w yönü, Z_R ve Z_L yönüne paraleldir ve X_w, X_L ve X_R ile aynı yönü göstermektedir. Şekil 2 'de görüldüğü gibi P noktasının Z yönündeki uzaklığı her iki kameraya ve referans koordinat sistemine aynı uzaklıktadır. P noktasının sol kameradaki görüntüsü P_L ve sağ kameradaki görüntüsü P_R olarak gösterilirse bu noktaların koordinatları sol görüntüde X_L ve Y_L dir, sağ görüntüde ise X_R ve Y_R 'dir. Benzer üçgenler kullanılarak P noktasının koordinatları aşağıdaki denklemlerden kolayca bulunabilir:

$$X_w = bX_L / d \quad (1)$$

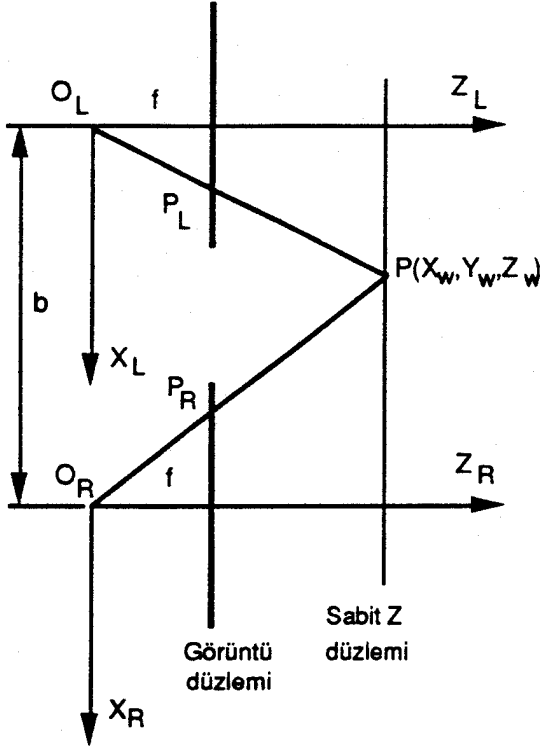
$$Y_w = bY_L / d \quad (2)$$

$$Z_w = bf_{eff} / d \quad (3)$$

burada $d=(X_L-X_R)$ olup *oransızlık (disparite)* olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1: Stereo görüntülemeye paralel-eksen geometrisi



Şekil 2: Şekil 1'in üstten görünüşü

Her iki kameradan görülebilen bir nokta her iki görüntüde birer nokta oluşturur ve aynı noktanın bu iki görüntüsü *eşlenik çift* olarak isimlendirilir. Sağ görüntüdeki bir nokta görüntüsü sol görüntüde de aynı özel bir doğru üzerinde olmalıdır çünkü sağ ve sol görüntülerdeki nokta aynı Y eksenini büyüklüğüne sahiptir. Bu doğruya *epipolar*

dogrusu adı verilmektedir. Paralel eksen-geometrisinde tüm epipolar doğruları X eksenine paraleldir.

2.1 Kamera Kalibrasyonu

Kamere kalibrasyonunun amacı, üç boyutlu referans koordinat sisteminde koordinatı bilinen noktalar aracılığıyla 2 boyutlu kamera koordinat sisteminin arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Kamera kalibrasyonu kameranın iç geometrik ve optik karakteristiginin ve/veya 3-boyuttaki konumu ve belirli koordinat sistemine göre açısal konumunun belirlenmesi işlemidir. Transformasyon parametrelerinin belirlenmesi için literatürde bir çok çalışma mevcuttur. Bu problemin çözümü için basit lineer denklem takımının çözümünden kompleks non-linear denklem takımlarının optimizasyonuna kadar bir çok metod önerilmektedir [3,4,5,6,7,8]. Burada ise kamera kalibrasyonu için aşağıda anlatılan basit bir geometrik method kullanılmıştır.

Kamera çiftinin montaj sırasında aynı dikey optik yüzeylere ve tam bir yatay açıklığa sahip olarak yerleştirilmesi kolay değildir. Bunun yerine kameralar mümkün olduğu kadar ideal geometriye yakın olacak şekilde yerleştirilir ve dama tahtası şeklinde bir kalibrasyon kartı ile kalibre edilir. Kameraların kalibrasyonunda ilk problem epipolar doğrularının aynı ufukta olmasıdır. İkincisi kameraların birbirlerine olan konumlarının ve üç boyutlu eşleştirme için efektif optik merkezinin belirlenmesidir. Üçüncü ise kameraların aynı görüntü için parlaklık seviye ayarlarının belirlenmesidir. Bu çalışmada kamera lensinin görüntüyü bozmasının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu varsayılmıştır.

Kameralar paralel eksen geometrisinde yerleştirilip, önüne dama tahtası kalibrasyon kartı konduğunda bu kartın farklı kısımlarıyla birlikte belirli bir kısmı her iki kameradanda gözlenebilecektir. Her bir kamera için ufuk çizgisi kalibrasyon kartındaki karelerin üst kenarları ile belirlenecektir. Kalibrasyon kartının eksenleriyle robotun referans eksenin aynı olması durumunda kameralarla elde edilecek olan koordinatlar robota her hangi bir işleminden geçirilmeden gönderilebilir. Kameraların birbirlerine göre konumlarının belirlenmesindeki en önemli parametreler *taban açıklığı* ve *vergence* açısıdır. Bu parametrelerdeki hatalar 3 boyut koordinat belirlemede büyük hatalara sebep olabilir. *Taban açıklığı* ve *vergence açısı* kalibrasyon kartındaki karelerin yatay açıları kullanılarak belirlenir. Kalibrasyon kartındaki karenin bir kenarının uzunluğu L ve θ karenin görüntüdeki uzunluğu l olarak belirtilirse, kamera efektif optik merkezi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$f_{eff} = f(L + l) / L \quad (4)$$

Burada f kameranın optik merkez uzaklığıdır.

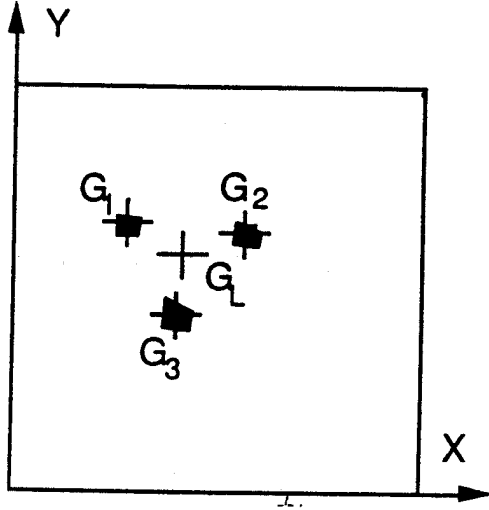
2.2 Eşleştirme

Eşleştirme 3 boyut koordinatlarının stereo görüntü ile belirlenmesinde önemli bir adımı oluşturmaktadır. Alınan iki görüntüden aynı fiziksel özelliklere sahip noktaların eşleştirilmesinin yapılması gereklidir. Eşleştirmenin yapılabilmesi için her iki görüntü analiz edilerek benzer özellikleri taşıyan noktalar belirlenmelidir. Eğer her iki görüntüde bir nokta mevcut ise paralel eksen geometrisine göre bu noktalar aynı epipolar doğru üzerinde olacaktır. Her iki görüntüde aranan özellik cismin kendisi olabileceği gibi farklı renk seviyelerine ait bölgelerde olabilir.

Kim ve Aggarwal [9] sıfır-kesişim paternleri ve parlalık gradyenini eşleştirme kriteri olarak kullanmıştır. Birk ve diğerleri [10] çap-limitli gradyen yönlü histogramı özellik belirlemek için kullanmıştır. Roach ve Aggarwal [11] görüntüdeki köşeleri eşleştirme özelliği olarak kullanmıştır. Marapare ve Trivedi [12] aynı gri seviyelerine sahip bölgeleri eşleştirme kriteri olarak kullanmıştır. Grimson [13] sıfır kesişimin ikinci dereceden türevini eşleştirme kriteri olarak kullanmıştır. Nasrabadi [14] eğri parçalarını eşleştirme özelliği olarak kullanmıştır. Burada ise renkli bir benneğin merkezi ve görüntüdeki beneklerin merkezi eşleştirme kriterleri olarak kullanılmıştır. Kameralardan alınan iki görüntü belirli bir benneğin bulunması için analiz edildiğinde Şekil 3 deki gibi bir görüntü elde edilir. Örneğin elde edilen görüntü sol kameradan alınan görüntü olarak kabul edilsin. Bu durumda beneklerin merkezleri G_i ($i=1,2,3$) aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\bar{X}_{Li} = \frac{\sum \text{i' inci benek'in her pikselinin X Koordinatı}}{\sum \text{i' inci benekteki piksel sayısı}} \quad (5)$$

$$\bar{Y}_{Li} = \frac{\sum \text{i' inci benegin her pikselinin Y Koordinatı}}{\sum \text{i' inci benekteki piksel sayısı}} \quad (6)$$



Şekil 3: Bir cisim üzerine konmuş ayırdedilebilir rebkte 3 beneğin iki boyutlu sol kamera görüntüsü.

Sol kamera görüntüsündeki 3 beneğin merkezi G_L 'nin koordinatları şu şekilde ifade edilir:

$$\bar{X}_{GL} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n} \quad (7)$$

$$\bar{Y}_{GL} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{Y}_i}{n} \quad (8)$$

Burada n toplam benek sayısını göstermektedir.

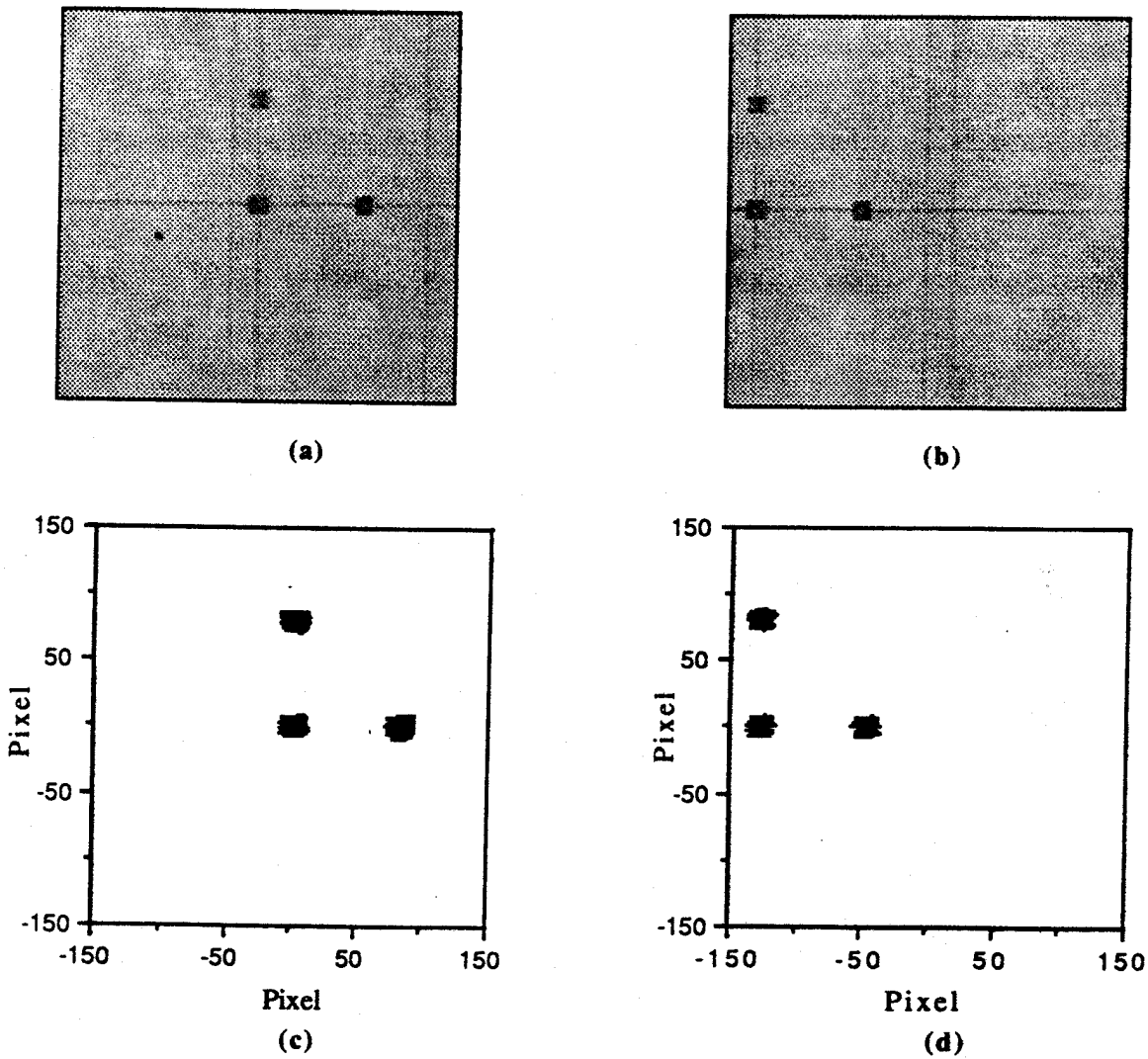
Aynı şekilde sağ görüntü içinde benek merkezleri ve sağ görüntü merkezi belirlenebilir. Görüntünün disparitesi :

$$d_{im} = X_{GL} - X_{GR} \quad (9)$$

olarak tanımlanır. Sol görüntüdeki benekler ile sağ görüntüdeki beneklerin eşleştirilmesi hata limitleri tanımlanarak, iterasyon methoduyla belirlenebilir. Önerilen algoritma Şekil 4 de verilmiştir.

3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada stereo görüntüleme sistemi kullanılarak bir cismin 3 boyuttaki konumunu belirlemek için önerilen basit bir yöntem test edilmiştir. Eşleştirme için kullanılacak olan özellikler (benekler) NTSC renk dönüşümleri kullanılarak belirlenmiştir ve eşleştirme bu beneklerin merkezleri ve görüntünün merkezleri kullanılarak kolaylıkla yapılmıştır (Şekil 5). Önerilen algoritma C dili kullanılarak Macintosh II fx bilgisayarında programlanmıştır. Ortadan ikiye bölme metoduyla benekler belirlenmiştir. 300X300 piksel boyutlarındaki görüntüler kullanılarak bir cismin 3 boyut konumunun belirlenmesi yaklaşık 6 saniye kadardır.



Şekil 5: (a) ve (b) cisim üzerindeki benekleri gösteren orijinal sol ve sağ stereo görüntülerdir.

(c) ve (d) ise original görüntülerinin benekler için analiz edilmiş görüntüleridir.

Tablo 1 de gösterilen ilk üç sıra bu görüntülerin koordinatlarını cm cinsinden vermektedir.

Önerilen algoritma, stereo görüntü algılama sistemine kolaylıkla uygulanmış ve deneyler sırasında yanlış eşleştirme olmadığı gözlenmiştir. Eşleştirme yapıldıktan sonra 3 boyuttaki hesaplamalar benzer üçgenler kullanılarak yapılmıştır. Bir objenin üzerindeki 3 benegin merkezlerinin X_w, Y_w, Z_w cinsinden hesaplanması 6 kez yapılmıştır. Bu hesaplamalar Tablo 1'de ölçülen değerlerle birlikte, cismin kameraya olan uzaklık farkları ve yüzde olarak hataları verilmiştir. Bu sonuçlar Kim and Aggarwal [9] sıfır-kesişim paternleri ve parlaklık gradyeninin eşleştirme kriteri olarak kullandığı sonuçlarıyla karşılaştırıldığında hemen hemen aynı hata yüzdeleri elde edilmiştir. Zaman bakımından ise bir karşılaştırma veri eksikliği bakımından yapılamamaktadır. Marapane ve Trivedi [12]'nin makalesinde ise uzaklık hata yüzdesi ± 5 ve analiz zamanında yaklaşık olarak 60 saniye verilmiştir. Tablo 1'de verilen hata yüzdesi oldukça küçüktür ve analiz zamanı ise yaklaşık 10 misli daha azdır. Şekil 4 de önerilen algoritma üzerinde üç benek kullanılarak tanımlanan bir cismin 3 boyutta konumunun ve açısal oryantasyonunun belirlenmesi için etkili bir algoritmadır. Koordinatların belirlenmesinin 6-7 saniye kadar olması bu algoritmanın atölye ortamında profesyonel robotlarla rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 1: Paralel eksen geometrisi kullanılarak elde edilen hesaplanmış ve ölçülen değerler.

Birim cm cinsindendir.

ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN MESAFELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ölçülen değer			Hesaplanan değer		Z eksenindeki hata		
X	Y	Z	X	Y	Z	ΔZ	%
0	5	237.5	0.0605	4.96	235.42	2.083	0.887
0	0	237.5	0.0609	0.0609	237.26	0.243	0.102
5	0	237.5	4.98	0.12	233.61	3.834	1.615
0	5	237.5	0.0605	4.96	235.42	2.082	0.88
0	0	237.5	0.121	0.0605	235.42	2.082	0.88
4.4	-3.65	207.5	4.841	-3.77	209.44	-1.94	0.935
5.5	-3.	218.3	5.808	-3.429	215.38	2.918	1.336
0	5	237.5	0	4.936	237.26	0.243	0.102
0	0	237.5	0.12	0.06	233.60	3.893	1.64
0.4	-3.45	229.6	0.462	-3.178	224.96	4.645	2.023
5.2	-3.45	226.55	5.413	-3.26	226.63	-0.083	0.037
5.2	-6.95	226.55	5.2	-6.443	220.06	6.486	2.863
0.65	-3.45	215.2	0.885	-3.208	215.38	-0.182	0.085
6.15	-3.45	215.2	6.547	-3.416	221.67	-6.470	3.067
6.15	-6.95	215.2	6.538	-6.997	223.30	-8.101	3.760
0.5	4	237.5	0.726	3.99	235.72	2.082	0.877
6	4	237.5	6.167	3.869	235.2	2.082	0.877
6	0.5	237.5	6.155	0.548	237.26	0.243	0.102

KAYNAKLAR

1. Dhond, U.R. ve Aggarwal, and J.K., " Structure from Stereo-A Review"
IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 19, no. 6, 1489-1509, 1989.
2. Kapucu, S., "Adaptive Control of a Robot Manipulator by Visual Data", Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi, 1994.
3. Duda, R.O. ve Hart, P.E., Pattern Recognition and Scene Analysis, Newyork, Willey. 1973.
4. Brown, D.C., "Close-Range Camera Calibration" Photogrammetric Eng., vol. 37, pp.855-866, 1971.
5. Tsai, R.Y., "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses"
IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-3, no.4, 1987.
6. Lenz, R.K. ve Tsai, R.Y., "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology."
IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. 10, no. 5, 713-720, 1988.
7. Grosky, W.I. ve Tamburino, L.A., "A Unified Aproach to the Linear Camera Calibration Problem", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol.12, no. 7, pp. 663-671, 1990
8. Weng, J., Cohen, P. ve Herniou, M., "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol.14, no. 10, pp. 965-980, 1992.
9. Kim, Y.C. ve Aggarwal J.K., " Positioning Three-Dimensional Objects Using Stereo Images", IEEE J. Robotics Automat., RA-3. No.4, 361-373, 1987.
10. Birk, J., Kelley, R. ve Wilson, L., " Image Feature Extraction Using Diameter-Limited Gradient Direction Histograms", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. PAMI-1, 228-235, 1979.
11. Roach, J.W. ve Aggarwal, J.K., " Determining the Movement of Objects from a Sequence of Images", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. PAMI-2, pp. 554-555., 1980.
12. Marapane, S.B. ve Trivedi, M.M., " Region-Based Stereo Analysis for Robotic Applications", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. 19, No. 6, 1447-1464, 1989.
13. Grimson, W. E. L., " Computational Experiments with a Feature Based Stereo Algorithm", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. PAMI-1, 17-33. 1985.
14. Nasrabadi, N.M., " A Stereo Vision Technique Using Curve-Segments and Relaxation Matching", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. 14, No1 5, pp. 566-572. 1992.